

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EP04/051635

REC'D. 07 DEC 2004

WIPO

PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 35 586.3

Anmeldetag: 31. Juli 2003

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
60488 Frankfurt/DE

Bezeichnung: Verfahren zum analogen Regeln oder Steuern
der Stoßelkraft und damit des Durchflusses in
hydraulischen Ventilen

IPC: G 05 D, F 16 D, B 60 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. September 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

W. Jöckel

M. Heinz

M. Engelmann

W. Fey

Verfahren zum analogen Regeln oder Steuern der Stößelkraft und damit des Durchflusses in hydraulischen Ventilen

Es ist bekannt, in ABS-Steuergeräten für Kraftfahrzeugbremsysteme, aber auch in sogenannten Fahrdynamikreglern mit zusätzlichen Funktionen wie ESP etc., elektromagnetisch ansteuerbare Ventile zur Regelung des Hydraulikdrucks einzusetzen.

Bei neueren Generationen von Hydraulikregelvorrichtungen werden sogenannte Analog/Digital-Ventile eingesetzt. Ein Analog/Digitalventil ist ein Schaltventil, welches so betrieben wird, dass analoge Regeleigenschaften besitzt. Dieses Ventil ist so konstruiert, dass es sowohl analog als auch digital betrieben werden kann.

Ein Verfahren zur Erkennung des Schaltpunktes des Ventils, insbesondere zur Bestimmung der Druckverhältnisse aus dem Stromverlauf des Ventilansteuerstromes geht aus der EP 0 813 481 B1 (P 7565) hervor.

Im Prinzip lässt sich der Druckgradient, den das Ventil aufbaut, über den Spulenstrom einstellen. Allerdings ist hierzu eine aufwendige Kalibrierung notwendig. Hierzu werden, wie z.B. in der WO 01/98124 A1 (P 9896) beschrieben, Kennlinien für die Ventile ermittelt und in Abhängigkeit vom gewünsch-

- 2 -

ten Druckgradienten mit Hilfe der Kennlinien berechnete Sollströme eingestellt. Der Volumenstrom Q hängt demzufolge über die Kennlinie f vom Differenzstrom Δp und vom Strom I ab.

Die unveröffentlichte DE 103 21 783.5 (AT 14.5.03, P 10697, Gronau, Burkhard, Loos) beschreibt ein Lernverfahren für Ventilkennlinien von Analogventilen bzw. analogisierten Schaltventilen. Nach dem beschriebenen Verfahren wird eine Kalibrierung dieser Hydraulikventile vorgenommen, indem während des Betriebs der ABS-Bremsvorrichtung eine Ansteuerkennlinie oder entsprechende Korrekturgrößen zur Korrektur einer vorhandenen Ansteuer-kennlinie ermittelt wird/werden. Die Kennlinien oder Korrekturgrößen für das Ventil werden mittels eines Lernverfahrens ermittelt. Das Lernverfahren kann sich über mehrere Zyklen der Blockierschutzregelung hinweg erstrecken. In jedem geeigneten Zyklus wird mit Hilfe der aus dem aktuellen Zyklus ermittelten Parameter nach einer rekursiven Formel eine genauere Kennlinie oder eine genauere Korrekturgröße ermittelt. Zur Berechnung der genaueren Kennlinie oder Korrekturgröße werden die während einer Radregelung benötigten Druckaufbauzeiten gesammelt. Dann werden jeweils auf Grundlage der vorliegenden gesammelten Druckaufbauzeiten korrigierte Kennlinie oder Korrekturgrößen berechnet. Speziell wird mittels des Lernverfahrens für ein Ventil eine Korrekturgröße k gebildet, welche mit einer vorgegebenen Ansteuerkennlinie des Ventils zur Bildung einer korrigierten Ansteuerkennlinie verknüpft wird. Die Korrekturgröße k wird gebildet nach einer geeigneten rekursiven mathematischen Formel.

- 3 -

Nach den bekannten Verfahren werden also, bei bekanntem (gemessenen) Differenzdruck, anhand von Gradientenkennlinien Spulenströme eingeprägt und damit der Druckgradient eingestellt.

Es hat sich gezeigt, dass dennoch die sich ergebenden Kennlinien eine unerwünschte Streuung aufweisen, so dass die Einstellung des gewünschten Druckgradienten nicht hinreichend genau erfolgen kann. Hierdurch wird das Regelverhalten des Gesamtsystems negativ beeinflusst. Eine Verbesserung ergibt sich zunächst einmal dadurch, dass für jedes eine Fertigungslinie verlassendes Steuergerät individuell eine Kalibrierung der Ventile vorgenommen wird. Hierzu werden insbesondere Kennlinien mittels einer geeigneten Messeinrichtung aufgenommen und geeignete Kalibrierdaten, die aus den diesen Kennlinien gewonnen werden, an einen mit dem Steuergerät verbundenen oder verbindbaren Regler, insbesondere an einen darin enthaltenen elektronischen Speicher, übertragen. Die Genauigkeit dieser an sich bekannten Kalibriermethode ist jedoch für moderne Kfz-Regelungen immer noch nicht genau genug. Die Ursachen für die verbleibenden Streuungen der Kennlinien bzw. insbesondere deren Gradienten rühren überwiegend von den Toleranzen der Mechanik, z.B. der schwankenden Federkraft, und des magnetischen Feldlinienkreises (Luftspalt etc.) her.

Ziel der Erfindung ist es nun, auch ohne den Einsatz von zusätzlichen Sensorelementen oder elektronischen Bauelementen ein Verfahren anzugeben, welches zu einer genaueren Ansteuerung der weiter oben beschriebenen Magnetventile führt.

- 4 -

Gemäß dem Verfahren der Erfindung werden die erforderlichen Kennlinien zur Kalibrierung ohne die Verwendung von Druckbeaufschlagungen des Ventils ermittelt. Hierdurch entfällt beispielsweise die Druckbeaufschlagung während der Ermittlung der Kennlinien mittels einer pneumatischen oder hydraulischen Messanordnung, mit der gemäß dem Stand der Technik definierte Druckdifferenzen am zu messenden Ventil eingestellt werden. Die Erfindung betrifft also insbesondere ein Verfahren zur Ermittlung von besonders genauen Ventilkennlinien. Hierdurch ergibt sich unter anderem der Vorteil, dass ein hergestelltes Ventil bzw. eine ganze Hydraulikeinheit nicht, wie dies bisher erforderlich war, in einem Prüfstand individuell unter Verwendung von definierten Drücken ausgemessen werden muss. Es genügt nach dem Verfahren der Erfindung, dass eine elektronische Steuerung, die an das Ventil bzw. an die Hydraulikeinheit angeschlossen ist, die elektromechanischen Eigenschaften des Ventils ausmisst. Aus diesen Daten werden dann die erforderlichen Kennlinien berechnet. Dieses Verfahren bietet weiterhin den Vorteil, dass das Verfahren beliebig oft, insbesondere in regelmäßigen Abständen auch nach dem Einbau in ein Fahrzeug selbstständig durchgeführt werden kann. Hierdurch ist es möglich, dass sich das System in regelmäßigen Abständen neu kalibriert. Auf diese Weise ist es außerdem erstmals möglich, auch Verschleißerscheinungen oder etwaige Veränderungen der Anordnung auf Grund von äußeren Einflüssen, die nach der Herstellung der Anordnung auftreten, zu berücksichtigen. Die Kennlinien können also ohne eine Messapparatur durch den Regler, auch zum Zeitpunkt nach dem Einbau in ein Fahrzeug, selbsttätig bestimmt werden. Hierdurch kann vorteilhaft ein zusätzlicher Datenübertragungsschritt von einer sonst erforderlichen Messanordnung zur Ermittlung der Kennlinien in das Steuergerät entfallen.

- 5 -

Zum Einstellen des Durchflusses mit den ermittelten Kennlinien wird lediglich eine geschätzte oder gemessene Druckdifferenz am Ventil benötigt. Ist beispielsweise wie üblich ein Drucksensor im Bereich des Tandemhauptzylinders vorhanden, kann der Differenzdruck auf übliche Weise aus dem Verlauf der druckbeeinflussenden Größen bestimmt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Ventil mit einer oder mehreren zusätzlichen Messelementen, insbesondere Messspulen zu versehen. Die Erfindung betrifft daher ein Ventil, welches mit einem oder mehreren zusätzlichen Messelementen versehen ist und ein Verfahren zum Einregeln der Öffnungsstellung und/oder des Durchflusses eines Ventils. Mit Hilfe eines im Bereich des Ventils angeordnet Messelements ist es möglich, innere physikalische Parameter des Ventils zu ermitteln und diese bei der Berechnung der Kennlinien zu berücksichtigen. Auf diese Weise kann auf besonders präzise Weise über die zuvor beschriebene Regelung die Stößelstellung über die Stößelkraft des Ventils eingestellt werden. Hierdurch ist eine Einstellung des gewünschten Durchflusses durch das Ventil mit gegenüber dem Stand der Technik erhöhter Genauigkeit möglich. Die oben erwähnten Toleranzen der Feder und des magnetischen Feldlinienkreises werden durch das hier beschriebene Verfahren dabei vorteilhafterweise weitestgehend eliminiert.

Vorzugsweise wird gemäß dem Verfahren der Erfindung die Federkraft, und wenn erforderlich der maximale Stößelhub in einer Kalibrierungsroutine ermittelt. Diese Größen gehen in die Kraftberechnung ein.

- 6 -

Vorzugsweise wird nach dem Verfahren der Erfindung eine Messung des Magnetflusses durchgeführt. Die magnetische Kraft ist direkt abhängig vom magnetischen Fluss. Der Unterschied zu den bisher bekannten Verfahren besteht darin, dass nicht die magnetische Spannung (Durchflutung) die geregelte Größe ist, sondern der magnetische Strom (magnetischer Fluss), und dass nicht der Strom durch die Spule die bestimmende Größe ist, sondern der wirksame magnetische Fluss.

Durch das beschriebene Verfahren wird vorzugsweise der maximale Stößelhub des Ventils und insbesondere die Federkraft ausgemessen. Unter Hinzunahme des gemessenen Druckgradienten kann die Kraft-Weg-Kennlinie des Ventils genau definiert werden, und damit lässt sich der Durchfluss des Ventils regeln oder steuern.

Daraus resultiert eine genaue Durchflussregelung bzw. Steuerung.

Vorteile der Erfindung:

- Entfall der Kalibrierung am Bandende,
- Stößelkraft ist unabhängig vom Stößelweg,
- Federtoleranzen werden ausgeglichen,
- Die magnetischen Toleranzen (Luftspalt) werden ausgegelt bzw. kompensiert,
- Permanente Rekalibrierung möglich,
- Ermöglicht Austauschkonzept in der Werkstatt.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels an Hand von Figuren.

Es zeigen

- Fig. 1 eine Ausführung ohne zusätzliche Messspule (vorzugsweise in der Anwendung als Flusssteuerung),
- Fig. 2 eine Ausführung mit Messspule (vorzugsweise in der Anwendung als Flussregelung), und
- Fig. 3 ein stromlos offenes Analog/Digitalventil (SO-AD-Ventil) im Querschnitt.

Der magnetische Fluss in der Schaltung von Fig. 1 induziert beim Abschalten der Ventilschule eine Spannung, deren Integral proportional dem magnetischen Fluss ist.

Dabei gelten folgende Zusammenhänge in den Beispielen der Figuren 1 und 2:

Magnetische Kraft:

$$F_{\text{magn}} = \frac{1}{2 * \mu_0 * A} * \Phi^2$$

μ_0 = Permeabilitätskonstante / Luft

A = Ankerfläche

Φ = Magnetischer Fluß

Magnetischer Fluss:

$$\Phi = \frac{\Theta}{RM_{\text{gesamt}}}$$

$\Theta = i * N$

I = Erregerstrom

N = Windungszahl

RM_{gesamt} = gesamter Magnetischer Widerstand

und

- 8 -

$$U = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad , \quad \Phi = -\frac{1}{N} \int_0^t U dt$$

Aufgrund der Messung des magnetischen Flusses zu einem Zeitpunkt nach Abschalten der Ventilspule ist dieser Aufbau nur für eine Flusssteuerung geeignet. Trotzdem werden auch hier die Federtoleranzen und die Magnetkreistoleranzen ausgeglichen. Der geforderte Druckgradient wird an die Recheneinheit geschickt. Der Differenzdruck ist der Recheneinheit bekannt (Drucksensor im Eingangskreis). Die Federkraft, der maximale Stößelhub und die Abhängigkeit des magnetischen Flusses vom Ventilstrom wurden in einer Messroutine ermittelt und können jederzeit rekaliбriert werden. Damit sind alle einwirkenden Kräfte und die berechnete Kraft/Weg-Funktion des Ventilstößels bekannt; es lässt sich der für den geforderten Druckgradienten erforderliche Ventilstrom berechnen.

Fig. 2 stellt den zweiten Ansatz der Erfindung mit einem zusätzlichen Spulenregelkreis dar.

Der magnetische Fluss wird hier mit einer Messspule erfasst. Die Messspule ist so angeordnet, dass sie den wirksamen magnetischen Fluss durch Joch und Anker erfasst. Beim Einschalten und Abschalten der Ventilspule wird in der Messspule eine Spannung induziert, deren Integral proportional dem magnetischen Fluss ist. Der geforderte Druckgradient wird an die Recheneinheit (µC) geschickt. Der Differenzdruck ist der Recheneinheit bekannt. Der Differenzdruck kann zum Beispiel mittels eines Drucksensors im Eingangskreis und der Historie des Ventilbetriebs (Bilanzierung der Zuflüsse/Abflüsse) errechnet werden. Die Federkraft und der maximale Stößelhub

- 9 -

werden in einer Messroutine ermittelt. Die Messroutine lässt sich jederzeit, auch während des Fahrzeugbetriebs, wiederholen (Rekalibrierung). Damit sind alle einwirkenden Kräfte und die Kraft/Weg - Funktion des Ventilstößels bekannt; es lässt sich der erforderliche magnetische Fluss berechnen. Über den Spulenstrom wird der Spulenstrom so lange erhöht, bis der magnetische Fluss im Magnetkreis dem errechneten Fluss entspricht.

Als Alternative können außer der Spule prinzipiell alle magnetfeldabhängigen Sensoren (z.B. Hallsensoren, MR-Sensoren) verwendet werden, wenn sie den wirksamen magnetischen Fluss erfassen. Die Spulenlösung ist jedoch die preisgünstigste und genaueste Lösung.

Neben dem obigen betrifft die Erfindung weiterhin die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kontrolle oder Verbesserung der Fertigungsqualität, in dem der Stößelhub und/oder die Federkraft während oder unmittelbar nach der Fertigung der Ventile bzw. des hydraulischen Ventilblocks gemessen wird.

Patentansprüche

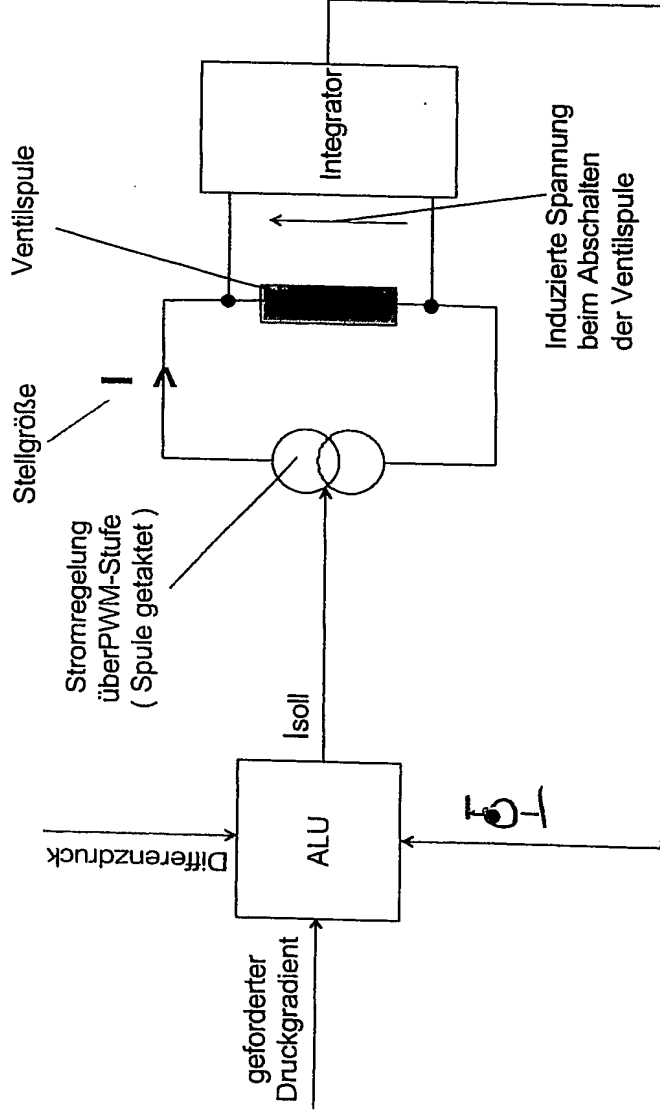
1. Verfahren zur Kalibrierung mindestens eines elektrisch ansteuerbaren Magnetventils zum Regeln des Durchflusses eines Fluids, insbesondere in einer hydraulischen Vorrichtung zur Bremsenregelung, bei dem die Druckbeeinflussung, welche das Ventil erzeugt, durch die Art der elektrischen Ansteuerung des Ventils im Voraus auch ohne die Verwendung von Drucksensoren bestimmt werden kann, in dem Kennlinien für das Ventil ermittelt werden, so dass vermittels der Kennlinien ein Solldurchfluss in Abhängigkeit von der Stromstärke eingestellt werden kann, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kennlinien ohne die Verwendung von Druckbeaufschlagungen des Ventils ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass für die Berechnung der Kennlinie der Ventilöffnungsweg und/oder die Federkraft bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Ventilöffnungsweg und/oder die Federkraft mit für die Baureihe des Ventils festgelegten individuellen ventilcharakteristischen Größen mathematisch verknüpft werden und daraus der Druckgradient bei einem Spulenstrom von $I = 0$ berechnet wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass der funktionale Zusammenhang des Druckgradienten in Abhängigkeit vom Ventilstrom I nach der Formel $Q = Q_0 + m \cdot I$ angenähert wird, wobei der Druckgradient Q_0 bei einem Strom von $I =$

0 Ampere durch Messung des Ventilöffnungswegs und/oder der Federkraft bestimmt ist.

5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die zur Kalibrierung des Ventils die Kennlinie/n des Ventils in einer mit der hydraulischen Vorrichtung verbundenen oder verbindbaren elektronischen Regeleinrichtung gespeichert werden.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stößelkraft bestimmt wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass aus der Stößelkraft die Stellung des Ventilstößels bestimmt wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die an der Ventilschule als Folge einer Stromänderung induzierte Spannung gemessen und insbesondere integriert wird.
9. Ventil, insbesondere hydraulisches Bremsensteuerungsgerät mit mindestens einem elektromagnetisch ansteuerbarem Hydraulikventil, umfassend eine elektromagnetische Spule und einen durch einen Anker bewegten Stößel, wobei der Anker durch den Strom beeinflusst zum Öffnen und/oder Schließen des Ventils bewegt wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Ventil mit einem oder mehreren zusätzlichen Messelementen versehen ist.

10. Ventil nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messelement eine Messspule ist.
11. Ventil nach Anspruch 9 oder 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messelement den magnetischen Fluss mindestens einer Ventilkomponente bestimmt.
12. Verfahren zum Einregeln der Öffnungsstellung und/oder des Durchflusses eines elektrisch ansteuerbaren Ventils, insbesondere eines Ventils gemäß mindestens einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Bereich des Ventils mindestens ein Messelement, insbesondere mindestens eine Messspule angeordnet ist, und das Messsignal des Messelements zum Einregeln des Ventils verwendet wird (Spulenregelkreis).
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Messsignal des Messelements eine Spannung ist, welche insbesondere aufintegriert wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch **gekennzeichnet**, dass aus der aufintegrierten Spannung der Magnetfluss und daraus die magnetische Kraft und/oder der Stößelhub bestimmt wird.
15. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 12 bis Anspruch 14, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stellgröße der Ventilstrom ist.
16. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 oder nach mindestens einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Spulenstrom getaktet ist.

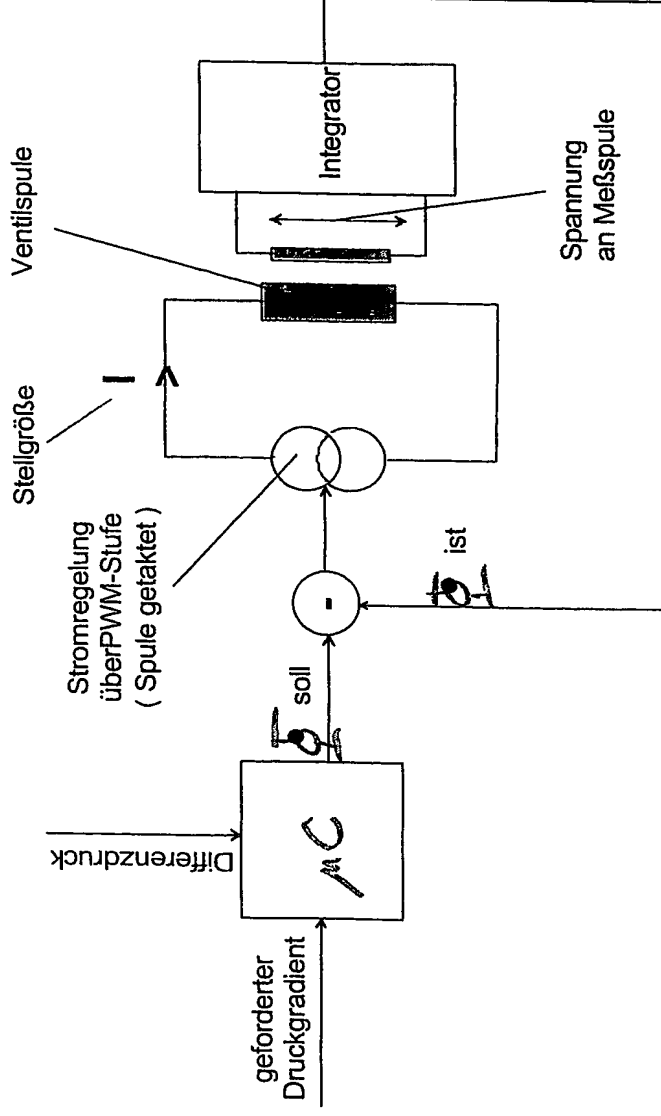
Aufbau des Steuerkreises ohne Messspule :



Stößelkraft - Regelung / Steuerung
Steuerkreis Magnetfluß

Fig. 1

Aufbau des Regelkreises mit Messspule



Stößelkraft - Regelung / Steuerung
Regelkreis Magnetfluß

Fig. 2

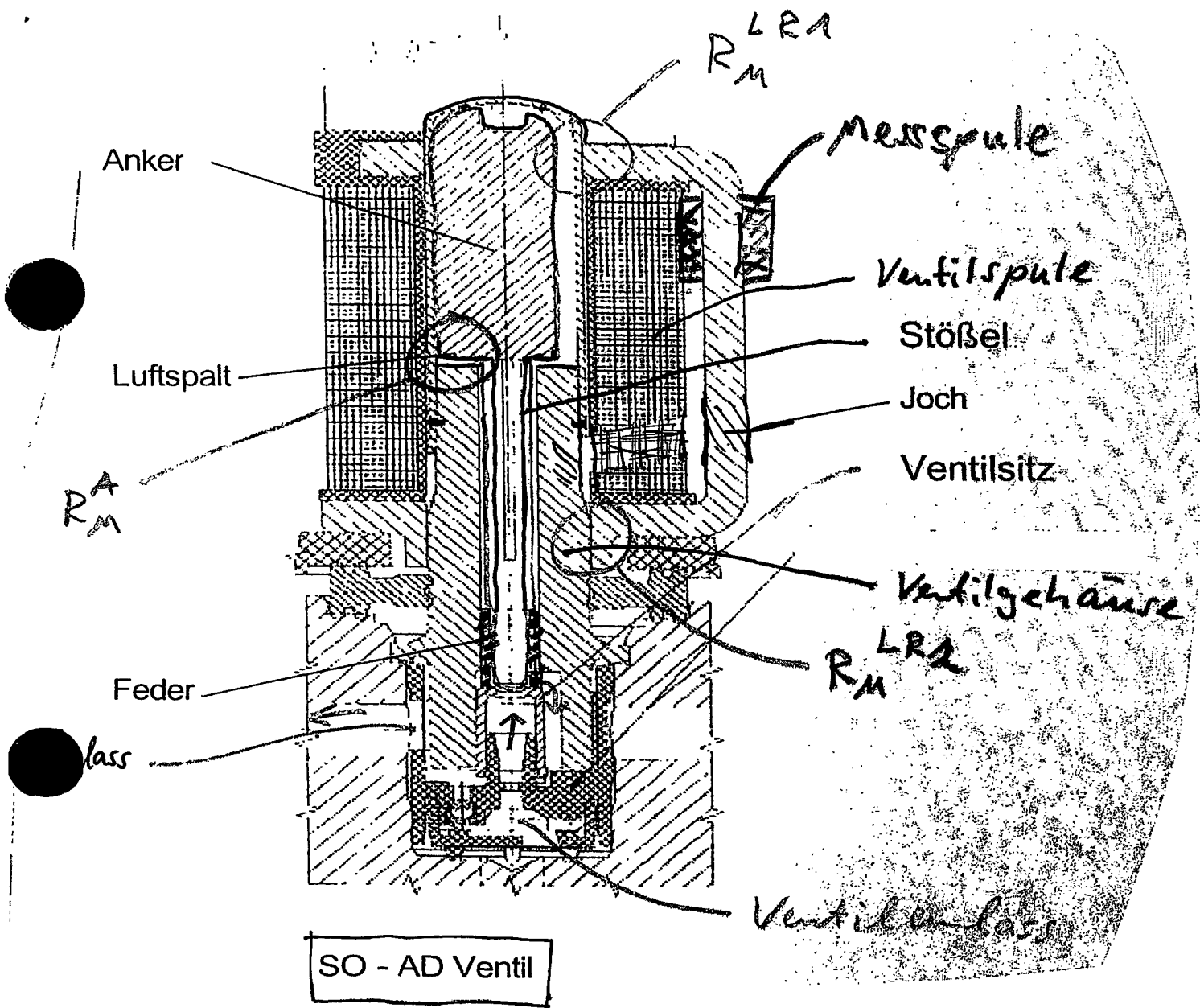


Fig. 3